



**You have downloaded a document from  
RE-BUŚ  
repository of the University of Silesia in Katowice**

**Title:** Zastosowanie nowoczesnych metod geofizycznych w monitoringu i inżynierii środowiska

**Author:** Adam Idziak

**Citation style:** Idziak Adam. (1997). Zastosowanie nowoczesnych metod geofizycznych w monitoringu i inżynierii środowiska. W: M. Nakonieczny, P. Migula (red.), "Problemy środowiska i jego ochrony. Cz. 5" (S. 111-126). Katowice : Uniwersytet Śląski. Centrum Studiów nad Człowiekiem i Środowiskiem



Uznanie autorstwa - Użycie niekomercyjne - Bez utworów zależnych Polska - Licencja ta zezwala na rozpowszechnianie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie w celach niekomercyjnych oraz pod warunkiem zachowania go w oryginalnej postaci (nie tworzenia utworów zależnych).



UNIWERSYTET ŚLĄSKI  
W KATOWICACH



Biblioteka  
Uniwersytetu Śląskiego



Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego

**Adam Idziak**

**Zastosowanie nowoczesnych  
metod geofizycznych  
w monitoringu  
i inżynierii środowiska**

Uniwersytet Śląski  
Wydział Nauk o Ziemi

---

**Adam Idziak** jest doktorem habilitowanym Nauk o Ziemi o specjalności geofizyka stosowana, profesorem Uniwersytetu Śląskiego. Kieruje Zakładem Geofizyki Stosowanej w Katedrze Geologii Stosowanej. Jest członkiem Komisji Nauk Geologicznych Oddziału Katowickiego PAN, członkiem American Geophysical Union i Polskiego Towarzystwa Mechaniki Skał. Zajmuje się zastosowaniem metod geofizycznych w badaniach hydrogeologicznych, w szczególności do rozpoznania dróg migracji wód oraz zanieczyszczeń w zbiornikach wód podziemnych. Drugą dziedziną jego zainteresowań jest sejsmiczność indukowana na obszarach eksploatacji górniczej. Opublikował wiele prac z zakresu swoich zainteresowań naukowych w czasopiśmie krajowych i liczących się czasopiśmie zagranicznych.

## **Wstęp**

Skażenie środowiska naturalnego przejawia się zmianami własności fizykochemicznych składających się na nie elementów: gleby, skał i wody. Geofizyka, jako nauka badająca własności fizyczne geosfery, posługuje się szerokim wachlarzem metod badawczych, które mogą być stosowane w ochronie środowiska. Duża czułość i dokładność współczesnych przyrządów geofizycznych, możliwość zautomatyzowania pomiarów, rozwój metod interpretacji i prezentacji wyników badań sprawiają, że pomiary geofizyczne stanu środowiska stosowane są coraz powszechniej. Zadania, w których wykorzystuje się metody geofizyczne, to:

- rozpoznanie aktualnego stanu skażeń środowiska;
- kontrola zmian zachodzących w otoczeniu źródeł skażenia;
- prognozowanie zagrożeń.

Osadniki przemysłowe, wysypiska śmieci, oczyszczalnie ścieków są najczęstszymi źródłami skażeń wód gruntowych i gleby. Metody geofizyczne pozwalają na długookresowe monitorowanie aureoli skażeń wokół tych obiektów.

Wiele zanieczyszczeń przenika głębiej do zbiorników wód podziemnych stanowiących często olbrzymie rezerwuary wody pitnej. Geofizyka umożliwia określanie dróg migracji skażeń, wyznaczanie ich zasięgu oraz wielkości.

Inną dziedziną zastosowań metod geofizycznych jest badanie stabilności obwałowań zbiorników wodnych, wałów przeciwpowodziowych czy budowli hydrotechnicznych.

Jedną z dziedzin badań geofizycznych, szczególnie ważną w przypadku Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, jest określanie wpływu eksploatacji górniczej na

powierzchnię terenu i znajdujące się na nim obiekty. Wykrywanie stref rozluźnień i pustek poeksploatacyjnych, kontrola osiadania terenu nad rejonami eksploatacji podziemnej, badanie wpływu drgań i wstrząsów na stabilność i trwałość budowli, monitorowanie wysypisk odpadów pogórnich, to typowe zagadnienia do których stosuje się pomiary geofizyczne.

Wyniki uzyskane przy pomocy badań geofizycznych umożliwiają inżynierom środowiska i geotechnikom podejmowanie działań zapobiegających rozprzestrzenianiu skażeń i skutecznie chroniących środowisko naturalne.

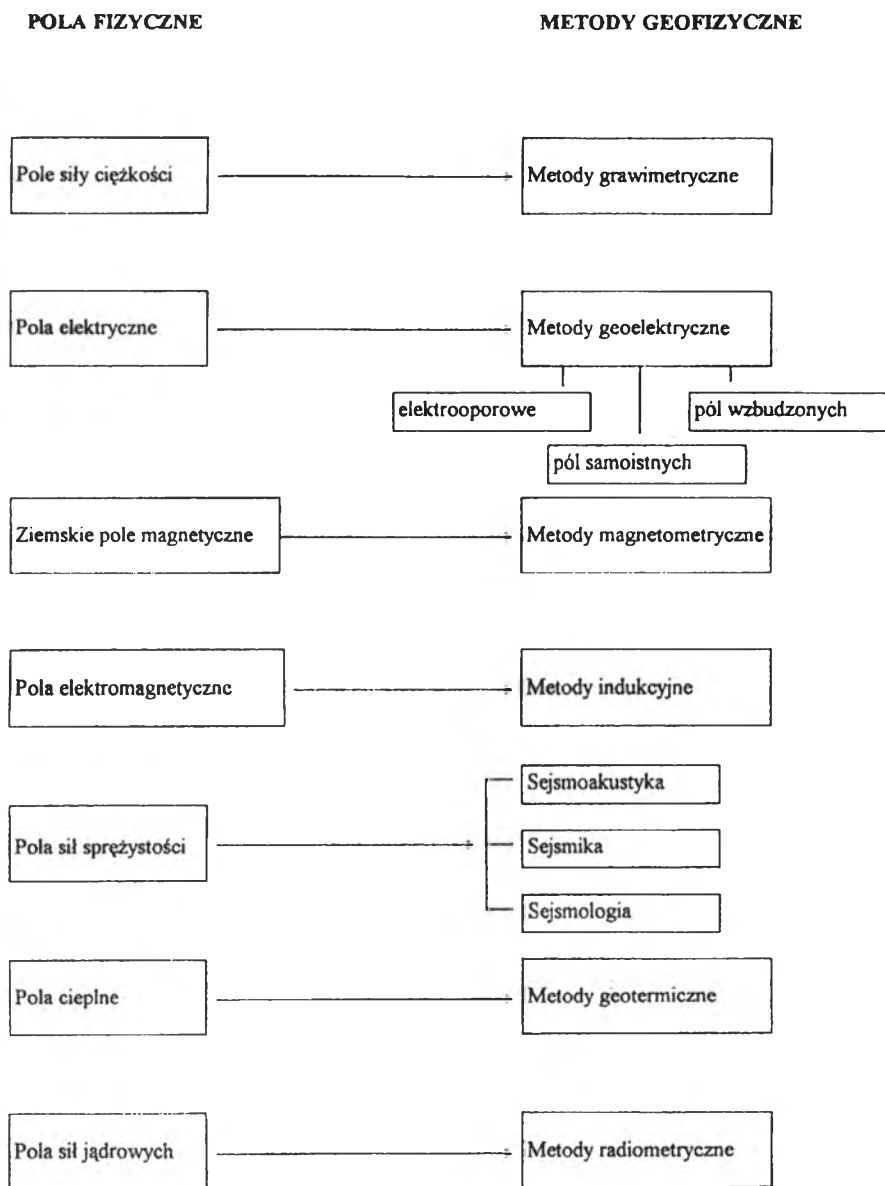
## **Przegląd metod geofizycznych stosowanych w badaniu środowiska naturalnego**

W zależności od rodzaju mierzonych pól fizycznych metody geofizyczne podzielono na kilka grup. Schemat podziału przedstawiony został na Rys. 1.

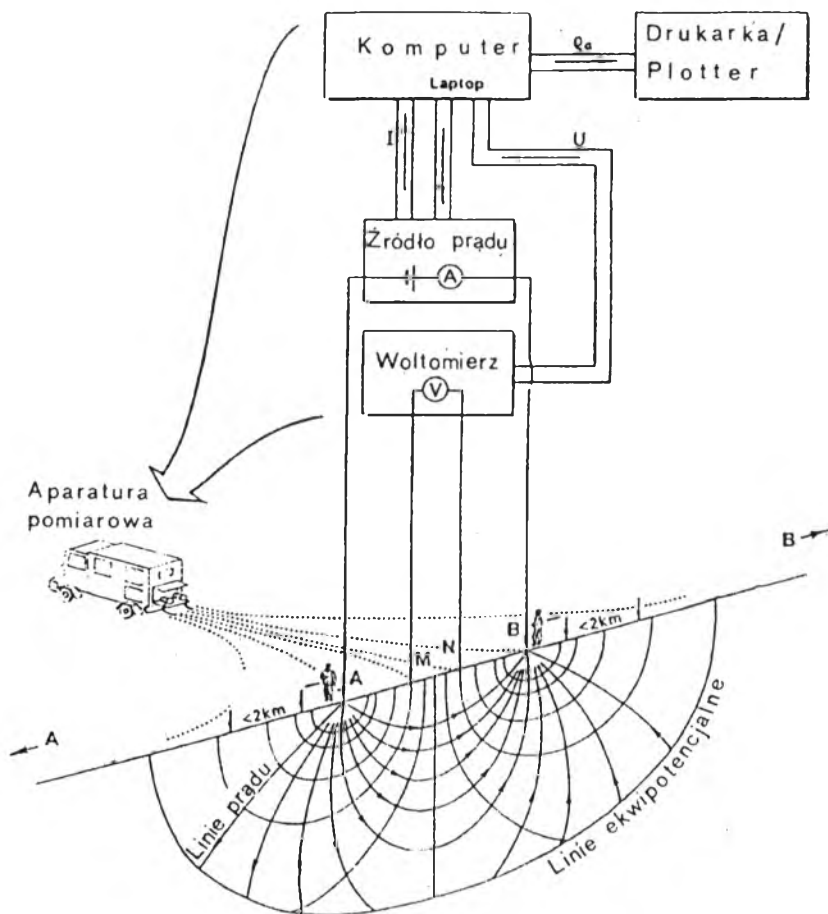
### ***Metody geoelektryczne***

W badaniach stanu skażeń środowiska naturalnego niewątpliwie najczęściej stosowane są metody geoelektryczne. Podstawowym mierzonym parametrem jest elektryczny opór właściwy ośrodka. Opór właściwy skał osadowych takich jak: żwiry, piaski, ropy, wapienie, dolomity zależy w głównej mierze od oporu właściwego wód wysycających ich struktury porowe i szczelinowe. Substancje zanieczyszczające środowisko przenikając do wód podziemnych zwiększają ich mineralizację powodując zmniejszenie oporu właściwego, a to z kolei wpływa na zmniejszenie oporu elektrycznego ośrodka skalnego.

W pomiarach geoelektrycznych wykorzystuje się prawo Ohma. Przez ośrodek skalny przepuszcza się prąd o stałym natężeniu i mierzy się spadek napięcia na określonym odcinku. Układ pomiarowy składa się z dwóch elektrod prądowych (oznaczonych jako elektrody A i B), zatkniętych w grunt w określonej odległości od siebie, które podłączone są do źródła prądu. Pomiedzy nimi umieszcza się dwie elektrody tzw. potencjałowe (oznaczone jako M i N), połączone z miernikiem napięcia. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na Rys. 2. Zasięg głębokościowy pomiaru zależy od odległości elektrod A i B. Wyniki pomiarów poddawane są interpretacji (przy użyciu odpowiedniego programu komputerowego), która pozwala na określenie rozkładu oporu właściwego w ośrodku skalnym (Rys. 3). Jeśli zwiększamy odległość elektrod prądowych, nie zmieniając położenia elektrod potencjałowych możemy określić rozkład oporu w przekroju pionowym. Są to tzw. pionowe sondowania elektryczne (PSE). Nie zmieniając odległości pomiędzy poszczególnymi elektrodami, lecz przesuwając cały układ pomiarowy wzdłuż wytyczonego odcinka, określamy zmiany oporu w kierunku poziomym na określonej głębokości. W ten sposób prowadzimy profilowanie oporu (PO).



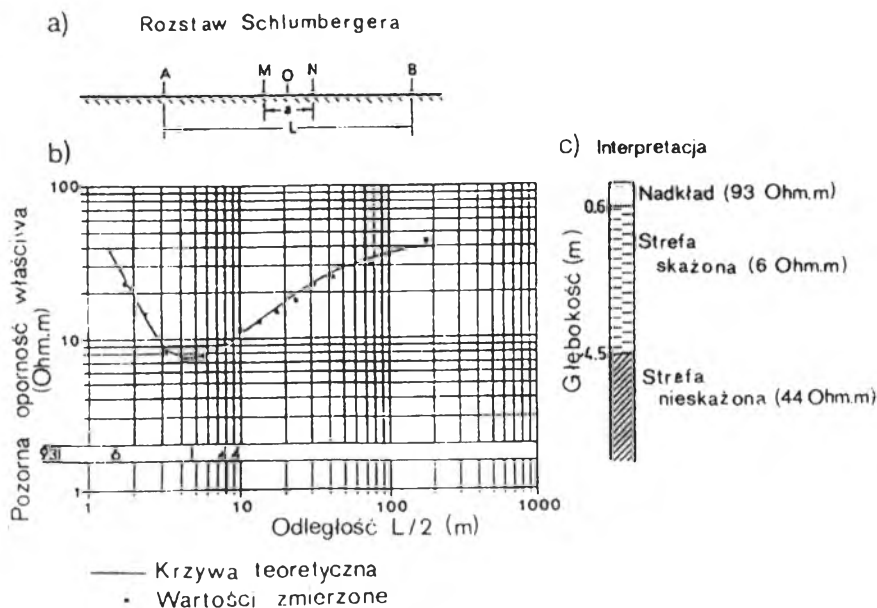
RYS. 1. Podział metod geofizycznych



RYS. 2. Schemat układu pomiarowego przy pomiarach elektrooporowych;  $P_a$  = wyliczony opór właściwy;  $I$  = prąd [A];  $U$  = natężenie [V]; A, B = elektrody prądowe; M, N = elektrody potencjalowe (według VOGELSANG, 1995).

Badania elektrooporowe pozwalają na wyznaczenie obszaru występowania oraz zasięgu głębokościowego stref skażonych, charakteryzujących się niskim oporem właściwym w porównaniu z ośrodkiem nie zanieczyszczonym. Badania te mogą być wykorzystane do monitorowania rejonów wokół źródeł zanieczyszczeń wód gruntowych i podziemnych, takich jak składowiska śmieci, osadniki przemysłowe, składowiska odpadów produktów chemicznych itp.

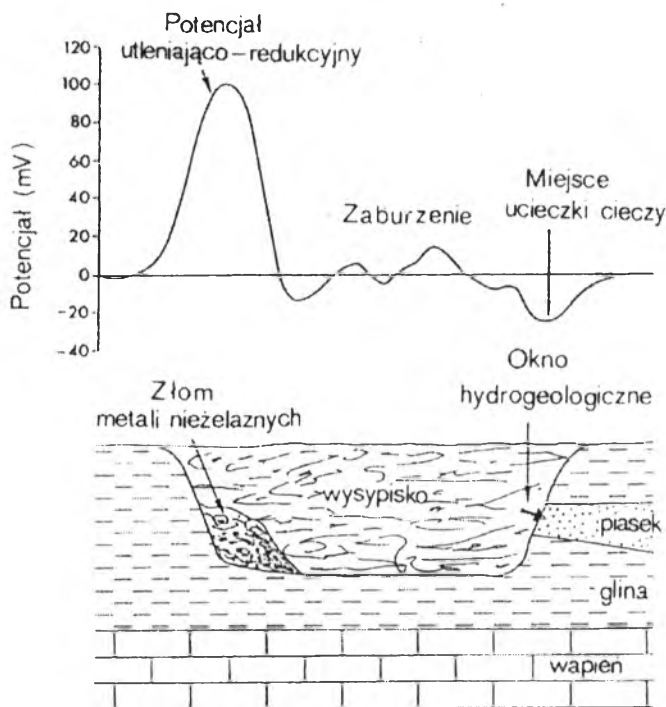
Oprócz badań elektrooporowych w geofizyce środowiska wykorzystuje się również pomiary pól elektrycznych powstających w ośrodku skalnym samoistnie (metoda polaryzacji samoistnej - PS) lub w wyniku wzbudzenia zewnętrznym polem elektrycznym (metody polaryzacji wzbudzonej PW).



RYS. 3. Wykresy sondowań elektrycznych i ich interpretacja; a) geometria układu elektrod; b) krzywa sondowań; c) wyznaczony przekrój opornościowy (według VOGELSSANG, 1995).

Naturalne pola elektryczne powstają w obszarach, gdzie silnie zmineralizowana woda lub gaz dyfundują szybko w głąb warstw skalnych lub gdzie dwa ośrodki zaważnione wodami o różnej mineralizacji kontaktują się ze sobą. Mogą także powstawać w wyniku procesów elektrochemicznych (utleniania lub redukcji) zachodzących, gdy np. odpadki metalowe kontaktują się ze skałą nasyconą wodą. Naturalne pola elektryczne przejawiają się na powierzchni terenu zmianami potencjału pola. Układ do pomiaru PS składa się z dwóch elektrod potencjałowych połączonych z woltomierzem. Jedna elektroda umieszczona jest na stałe w punkcie bazowym, a druga przesuwana jest wzdłuż wytyczonego profilu. Wyniki badań pozwalają na wykrywanie utleniających się odpadków metali (również nieżelaznych) w wysypiskach lub gruncie, określanie miejsc odpływu wód skażonych (RYS. 4), czy miejsc ucieczki gazu z nieszczelnych rurociągów podziemnych.





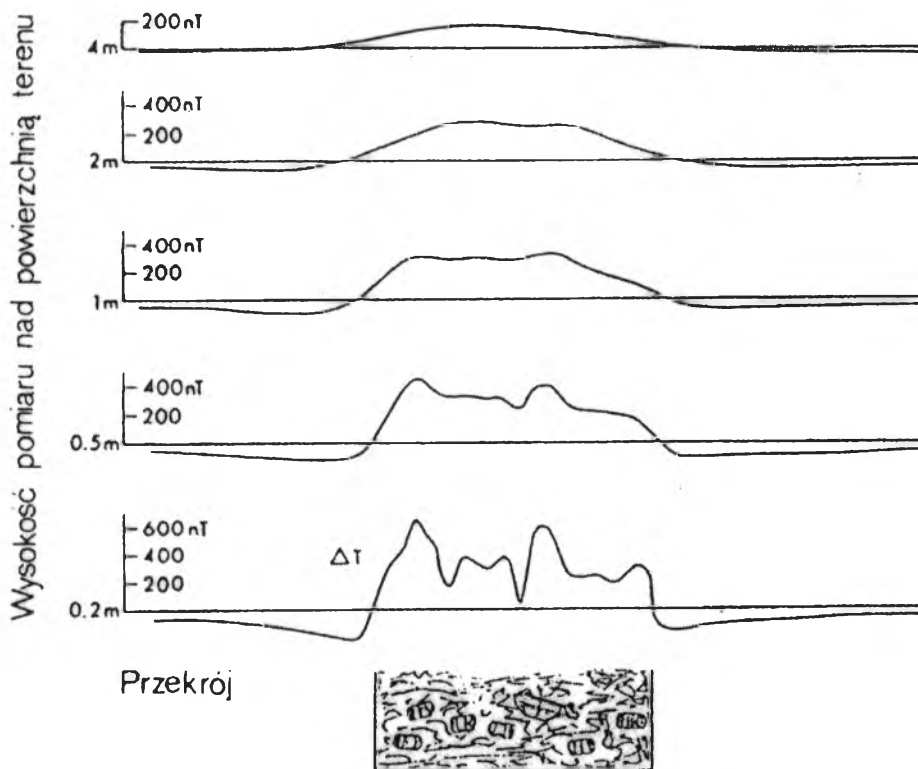
RYS. 4. Potencjał naturalnego pola elektrycznego na obszarze wysypiska (według VOGELSANG, 1995).

Metodę polaryzacji wzbudzonej porównać można do procesu zachodzącego w akumulatorze samochodowym. Przyłożenie zewnętrznego pola elektrycznego powoduje naładowanie akumulatora (rozdzielenie ładunków dodatnich i ujemnych w badanym ośrodku). Po wyłączeniu pola zewnętrznego akumulator rozładowuje się wskutek przepływu prądu w zawierającym go obwodzie elektrycznym (poprzez przewodzące warstwy skalne). Pomiary polegają na obserwacji sposobu rozładowywania się akumulatora, tzn. zanikania wzbudzonego pola elektrycznego w określonym czasie. Układ pomiarowy jest taki sam jak w metodach elektrooporowych, lecz prąd włącza się tylko na określony czas, a spadek napięcia mierzy się w ciągu 2–8 sekund od momentu wyłączenia prądu. Metoda polaryzacji wzbudzonej pozwala na odróżnianie warstw o tej samej, niskiej oporności właściwej, np. piasków nasyconych wodami skażonymi od glin.

Ważną zaletą metod geoelektrycznych jest to, że pomiary wykonuje się na powierzchni terenu, nie naruszając ośrodka skalnego. Inwazyjne metody badań, takie jak wiercenie czy próbnikowanie mogą często prowadzić do perforacji warstw uszczelniających ułatwiając przepływ zanieczyszczeń do warstw głębiej zalegających.

### Metody geomagnetyczne

Badania geomagnetyczne polegają na wykrywaniu zaburzeń naturalnego ziemskiego pola magnetycznego wywołanych przedmiotami wykonanymi z pierwiastków ferromagnetycznych (żelazo, chrom, nikiel, mangan), zalegającymi pod powierzchnią terenu. Współczesne przyrządy do pomiarów pola magnetycznego są lekkie, łatwe do przenoszenia i proste w obsłudze. Ich czułość umożliwia znajdowanie obiektów nawet o niezbyt dużej masie zalegających do głębokości kilku metrów (Rys. 5). W badaniach wykorzystuje się zwykle dwa przyrządy. Jeden z nich umieszcza się w obszarze niezaburzonym (mierzy on natężenie ziemskiego pola magnetycznego), a drugim wykonuje się pomiary w węzłach wytyczonej sieci pomiarowej. Rozmieszczenie punktów pomiarowych zależy od spodziewanej wielkości wykrywanych obiektów. Mogą one znajdować się w odległości od 1m do kilkunastu metrów. Ponieważ



RYS. 5. Zakłócenia natężenia ziemskiego pola magnetycznego nad wysypiskiem odpadów metali magnetycznych (według VOGELSANG, 1995).

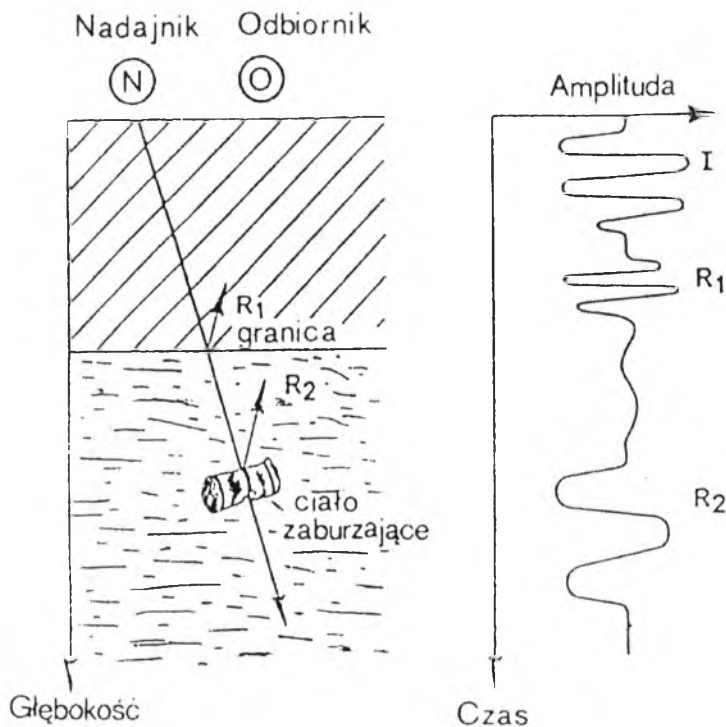
natężenie ziemskiego pola magnetycznego może podlegać chwilowym wahaniom, pomiary powinny być zsynchronizowane w czasie i porównane z pomiarami w punkcie bazowym. Wykonywanie pomiarów na dwóch różnych wysokościach nad powierzchnią terenu (np. przy gruncie i na wysokości 2 m) pozwala na dokładniejsze określenie głębokości zalegania ciała zaburzającego.

Badania geomagnetyczne mogą być z powodzeniem wykorzystywane do lokalizacji zasypanych składowisk zawierających duże ilości żelaza (np. składowiska odpadów komunalnych), starych rurociągów, przewodów elektrycznych czy fundamentów nie istniejących już budynków.

### ***Metody elektromagnetyczne***

Metody elektromagnetyczne wykorzystuje się do badania obiektów lub warstw o przewodności elektrycznej kontrastowo różniącej się od skał otaczających. Układ pomiarowy składa się z nadajnika generującego fale elektromagnetyczne o częstotliwości od kilkuset do kilku tysięcy herców oraz odbiornika rejestrującego falę po przejściu przez badany ośrodek. Na podstawie różnicy parametrów fali nadawanej i odbieranej określa się przewodność ośrodka i jego własności elektryczne. Zasięg głębokościowy badań zależy od odległości pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem, mocy nadajnika i częstotliwości generowanej fali; może on wynosić od kilku do kilkudziesięciu metrów. Stosowane w geofizyce środowiska przyrządy pomiarowe przystosowane są szczególnie do wyznaczania zmian przewodności elektrycznej na określonych poziomach głębokościowych. Celem badań może być okonturowanie składowisk zanieczyszczeń, wyznaczanie poziomu wód gruntowych oraz uskoków i stref spękań mogących stanowić drogi przepływu wód skażonych.

Do grupy metod elektromagnetycznych zaliczyć można także metody georadarowe. Oparte są one na analizie fal elektromagnetycznych wysokiej częstotliwości (od 4MHz do 8GHz) odbitych od granic oddzielających warstwy o odmiennych własnościach elektrycznych. Georadar składa się z nadajnika wysyłającego skoncentrowaną wiązkę fal oraz odbiornika rejestrującego natężenie fali odbitej oraz czas pomiędzy wysłaniem impulsu a powrotem fali odbitej. Nadajnik i odbiornik zamontowane są we wspólnej obudowie a pomiary wykonuje się przesuwając urządzenie wzdłuż wytyczonego profilu na powierzchni terenu (RYS. 6). Zasięg penetracyjny georadaru zależy od częstotliwości wysyłanej fali (fale o większej częstotliwości są tłumione silniej). Głębokość penetracji może być ograniczona także przez warstwy o bardzo dużej oporności. Georadaru można z powodzeniem używać do lokalizacji rur z tworzyw sztucznych, podziemnych kabli, zasypanych starych wyrobisk górniczych, pustek, tuneli i kavern krasowych. Przydatny jest również do badania opuszczonych terenów poprzemysłowych lub wojskowych.

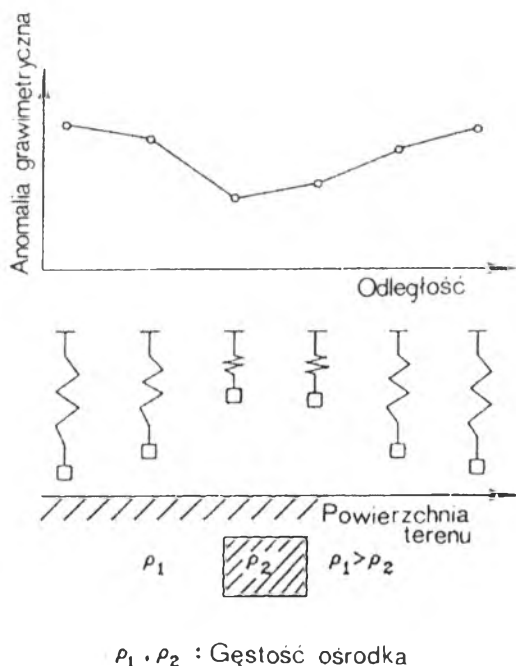


$I$  = Impuls wysłany przez radar  
 $R_1, R_2$  = Impulsy odbite

RYS. 6. Zasada pomiarów georadarem; N = nadajnik, O = odbiornik (według VOGELSANG, 1995).

### Metody grawimetryczne

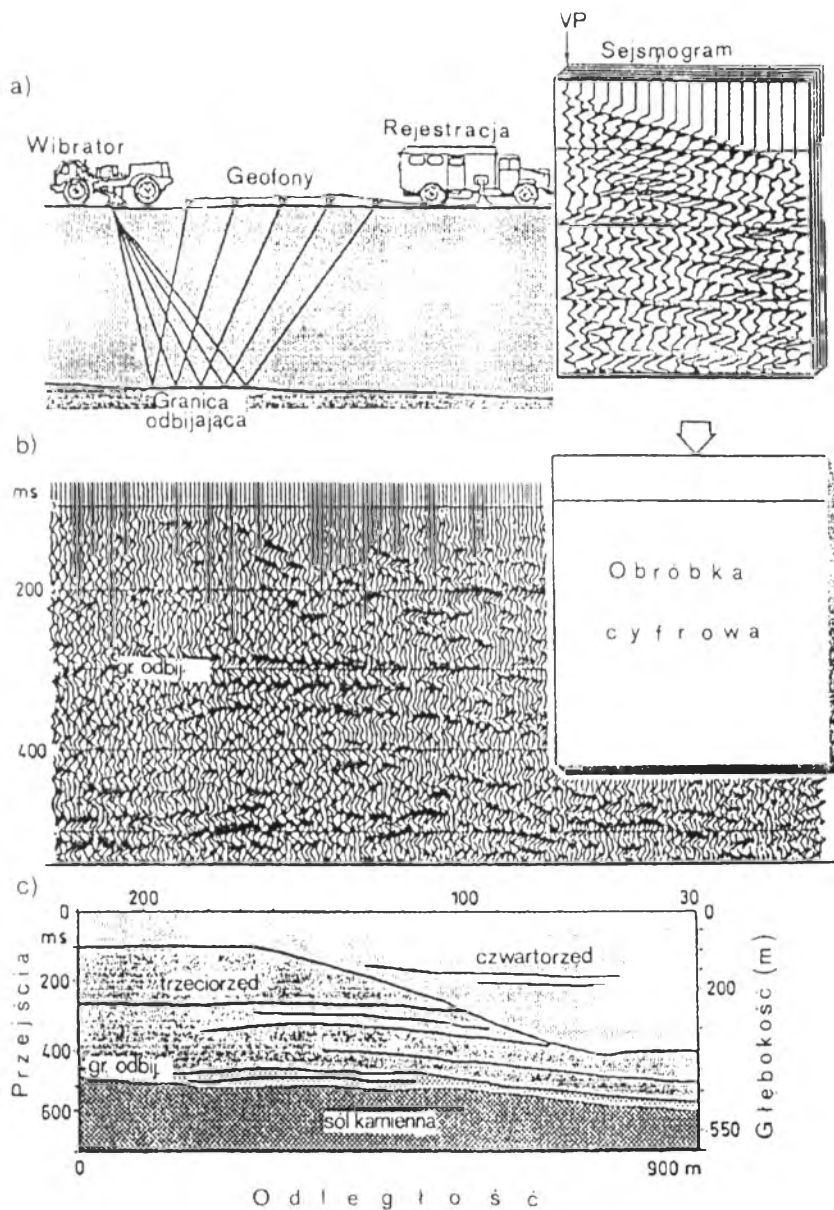
Lokalne zmiany gęstości skał zalegających pod powierzchnią terenu powodują niewielkie zakłócenia w rozkładzie siły ciężenia. Innymi słowy, ciało o stałej masie może zmieniać swój ciężar w zależności od miejsca, w którym jest ważone. Zmiany te są niewielkie, jednak przy dużej czułości współczesnych przyrządów pomiarowych - grawimetrów - mogą być obserwowane. Grawimetry to w zasadzie bardzo czułe wagi sprężynowe (RYS. 7). Siła ciężkości mierzona na powierzchni terenu będzie mniejsza tam, gdzie pod powierzchnią występują strefy skał luźniejszych, spękanych, pustki, kawerny krasowe, większa zaś nad zalegającymi utworami o dużej gęstości. Badania grawimetryczne, chociaż kosztowne, mogą być wykorzystywane w ochronie powierzchni na obszarach zdewastowanych eksploatacją górniczą, w badaniu zjawisk krasowych występujących w dosyć powszechnych skałach wapiennych.



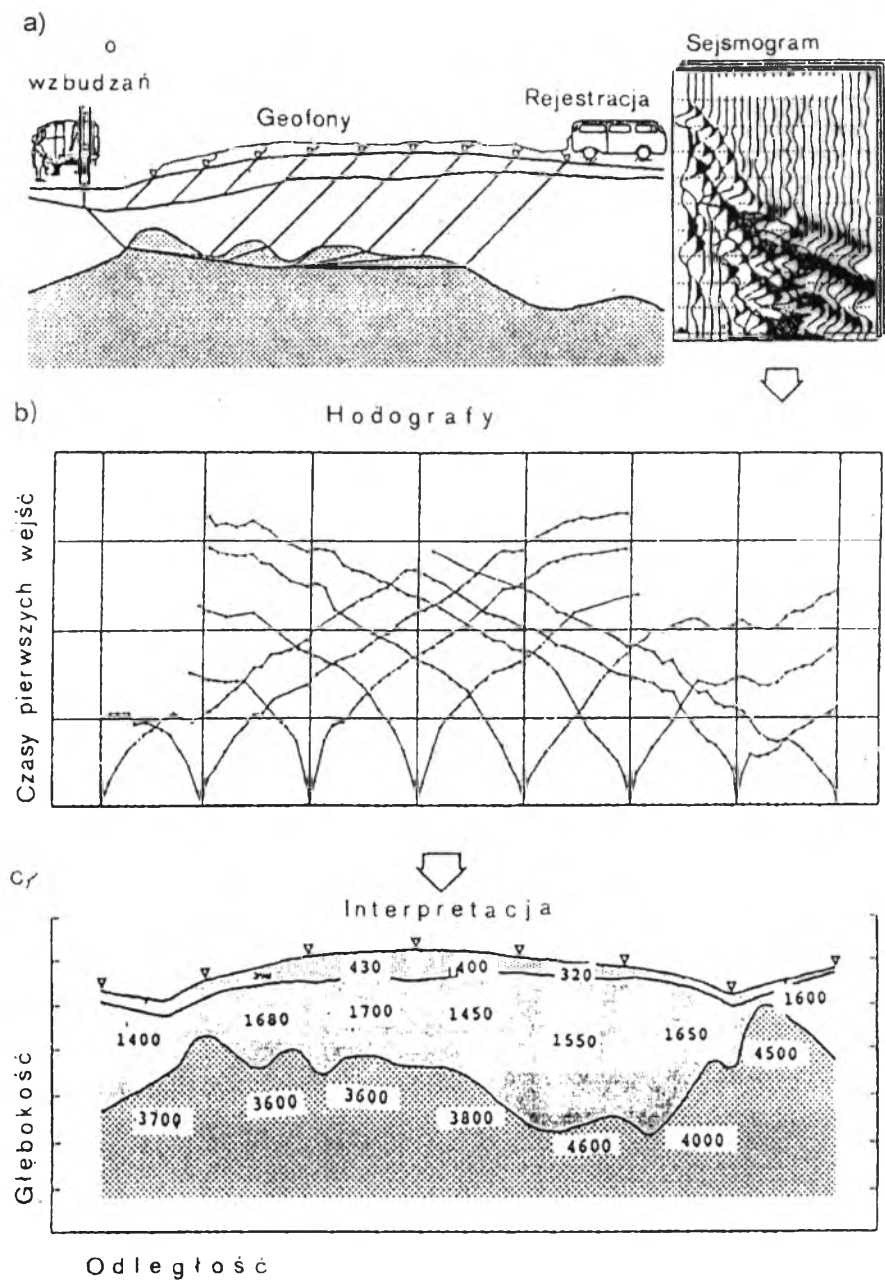
RYS. 7. Zasada pomiarów grawimetrycznych (według VOGELSSANG, 1995).

### Metody sejsmiczne

W badaniach sejsmicznych wykorzystuje się zróżnicowanie własności sprężystych skał i związane z tym zróżnicowanie prędkości fal sprężystych rozchodzących się w ośrodku. Fale sejsmiczne (fale sprężyste o częstotliwościach od kilkunastu do kilkuset herców) wzbudzone są sztucznie na powierzchni terenu przez uderzenie młotem, spuszczenie na ziemię ciężarka lub odpalenie ładunku wybuchowego. Wzbudzone fale rozchodzą się w ośrodku z prędkością zależną od rodzaju skał i po pewnym czasie docierają do rozstawionych na powierzchni czujników drgań zwanych geofonami. Geofony ustawione są zwykle wzdłuż prostej przechodzącej przez punkt wzbudzenia. Czasy, po których fala wzbudzona dociera do kolejnych geofonów, są podstawowymi mierzonymi parametrami. Zbiór zapisów drgań rejestrowanych przez poszczególne geofony nazywa się sejsmogramem. Sejsmogramy poddaje się interpretacji przy użyciu komputera otrzymując informacje o układzie warstw budujących ośrodek geologiczny oraz zaburzeniach w ich ciągłości: uskokach, szczelinach. W bliskiej odległości od punktu wzbudzenia rejestruje się fale odbite od granic warstw różniących się własnościami sprężystymi. Jest to tzw. metoda refleksyjna (RYS. 8). W dalszej odległości od źródła fali obserwuje się fale ugięte na granicy warstw i rozchodzące się wzdłuż tej granicy. Ta metoda nazywa się sejsmiką refrakcyjną (RYS. 9).



RYŚ. 8. Sejsmika refleksyjna; a) zasada pomiaru; b) przetworzony sejsmogram; c) wyinterpretowany przekrój geologiczny (według VOGELŠANG, 1995).



RYS. 9. Sejsmika refrakcyjna; a) zasada pomiaru; b) hodografy prędkości fal sejsmicznych; c) przekrój sejsmiczny (liczby oznaczają prędkości fal sejsmicznych [m/s]) (według VOGELSANG, 1995).

Sejsmika refleksyjna wykorzystywana jest przede wszystkim do rozpoznania budowy geologicznej, w szczególności do wyznaczania przebiegu stropu skał zwięzłych, zalegających pod słabiej skonsolidowanymi lub luźnymi osadami pochodzącymi z późniejszych okresów geologicznych. Przy badaniu warstw zalegających na głębokości mniejszej niż ok. 50 m, czasy dojścia fali odbitej do geofonów są zbyt krótkie aby mogły być precyzyjnie wyznaczone przy jednorazowym wzbudzeniu fali. Jako źródła fal stosuje się w tym przypadku wibratory - urządzenia generujące powtarzalne impulsy falowe (Rys. 8a).

Sejsmika refrakcyjna używana jest do badania płytko zalegających warstw i ich granic. Można za jej pomocą określać głębokość poziomu wód gruntowych, badać podłoże i otoczenie wysypisk zagrażających środowisku, wyznaczać grubość warstwy zwietrzliny skalnej, w której odkładać się mogą zanieczyszczenia powierzchniowe.

### ***Metody geotermiczne***

Powierzchniowe metody geotermiczne stosowane są do tworzenia map anomalii geotermicznych w oparciu o pomiary temperatury powierzchni gruntu lub płytko zalegających warstw. Do pomiarów temperatury na powierzchni używa się detektorów podczerwieni - promieniowania wysyłanego przez nagrzane obiekty. Przy użyciu termometrów elektronicznych, w których zmiany temperatury rejestruje element półprzewodnikowy (termistor) wykonuje się pomiary w płytkich otworach o głębokości od kilku centymetrów do kilku metrów. Dla wyeliminowania wpływu ciepła atmosferycznego i promieniowania słonecznego pomiary wykonuje się z reguły nocą między godziną 4<sup>00</sup> a 6<sup>00</sup>. Metody termiczne umożliwiają wykrywanie ciepłych źródeł (np. w miejscowościach uzdrowiskowych). Mogą być pomocne przy znajdowaniu miejsc dopływu i odpływu wód o temperaturze różniącej się od temperatury otoczenia. Pozwalają kontrolować procesy zachodzące w wysypiskach odpadów komunalnych i przemysłowych i wykrywać tam potencjalne ogniska samozapłonu.

### ***Metody sejsmoakustyczne***

Podobnie jak metody sejsmiczne, metody sejsmoakustyczne polegają na detekcji fal sprężystych. Jednak w tym przypadku rejestrowane są fale o częstotliwościach porównywalnych z częstotliwościami fal dźwiękowych (stąd nazwa sejsmoakustyka), tzn. od kilkuset do kilkudziesięciu tysięcy herców. Fale takie mogą być generowane w sposób naturalny, np. przez przesypujące się ziarna piasku, mikropęknięcia skał kruchych itp. Metody sejsmoakustyczne mogą więc być stosowane do kontroli stabilności skarp, zboczy, obwałowań zbiorników wodnych w czasie ich napełniania i użytkowania.

Metody sejsmoakustyczne stosowane pierwotnie przez geofizyków i geotechników zaadaptowane zostały w inżynierii materiałowej do kontroli szczelności ru-



ciągów, cystern, zbiorników chemicznych czy nawet obudów reaktorów jądrowych, a więc obiektów mogących zagrażać środowisku. Badania wykonuje się w czasie instalowania lub już w trakcie eksploatacji tych urządzeń. Zwiększając ciśnienie panujące w rurociągu czy zbiorniku prowadzi się detekcję fal sejsmoakustycznych. Rozmieszczając odpowiednio czujniki drgań można lokalizować ich źródła - powstające mikropęknięcia, które doprowadzić mogą do osłabienia struktury materiału i powstania makroskopowych szczelin i pęknięć.

## Podsumowanie

Geofizyka środowiska jest jeszcze stosunkowo młodą dziedziną geofizyki stosowanej. Zaadaptowała ona procedury pomiarowe i interpretacyjne wykorzystywane wcześniej w geofizyce poszukiwawczej i geofizyce górniczej. Chociaż dotychczasowe rezultaty stosowania metod geofizycznych w badaniach środowiska są zachęcające, niezbędne są dalsze prace nad ich rozwojem. Jednym z utrudnień jest zbyt mała (jak dotychczas) wiedza o własnościach fizycznych odpadów i zanieczyszczeń. Często własności te są odmienne niż mogło się wydawać, np. wysypisko bardzo niejednorodnych odpadów komunalnych przejawia takie własności elektryczne jak jednorodny obiekt o niskiej oporności. Poszczególne metody geofizyczne ukierunkowane są na badania określonych własności fizycznych. Kompleksowe badania obejmujące kilka różnych metod pozwalają na weryfikację i uszczegółowienie uzyskanych rezultatów. Niezbędne jest więc opracowanie kompleksowej metodyki badań dla konkretnych problemów ochrony środowiska. Rozwojem geofizyki środowiska zajmuje się już w Polsce kilka ośrodków naukowych, między innymi Uniwersytet Śląski, Akademia Górniczo-Hutnicza, Główny Instytut Górnictwa. Osiągnięcia badawcze wdrażane są w praktyce przez coraz liczniej działające przedsiębiorstwa geofizyczne zajmujące się ochroną środowiska.

## Piśmiennictwo

VOGELSANG D. 1995: Environmental Geophysics, Springer-Verlag, Berlin.